

Hareketli Uydu Yer Terminalleri için Ku Bant Ölçeklenebilir Elektronik Taramalı Faz Dizili Anten Tasarımı

Kamil Yavuz Kapusuz¹, Yakup Şen², Uğur Oğuz¹

¹RST Teknoloji
Mühendislik Bölümü
Ankara

²Filkon Elektronik
Ankara

kkapusuz@rstteknoloji.com.tr, senyakup@yahoo.com, uoguz@rstteknoloji.com.tr

Özet: Bu çalışmada, hareketli uydu yer terminallerinde kullanılmak üzere Ku bant ölçeklenebilir elektronik taramalı faz dizili anten tasarımı sunulmuştur. Tasarımda dizi elemanı olarak çok katmanlı açıklık bağlaşımlı mikroşerit yama anteni kullanılmıştır. Geliştirilen yama anten yapısı mikroşerit anten yapısının avantajlarını (düşük profil ve hafiflik gibi) korurken dezavantajlarını da (düşük kazanç ve dar bant gibi) gidermektedir. 10.70 – 12.75 GHz'de tasarlanan elektronik taramalı faz dizi antende toplam 61 tane birim anten elemanı ve gerekli tarama işleminin gerçekleşmesi için faz kaydırıcılar bulunmaktadır. Birim antenler arkasına konumlandırılan faz kaydırıcılar ve pasif RF devre bileşenleri ile hem hüzme yönlendirme hem de polarizasyon eşleşmesi yapılmaktadır. Benzetimlerde ana huzmenin iki ekseninde de $\pm 60^\circ$ 'yi sorunsuz taratılabildiği gösterilmiştir.

Abstract: In this study, Ku-band scalable electronically steerable phased array antenna design is presented for mobile satellite earth terminals. Multi-layer aperture coupled microstrip patch antenna has been used as an array element. Developed multilayer patch structure, which resolves the drawbacks of microstrip antennas (low gain, and narrow band), while preserving its advantages (low profile, and lightweight) is designed to construct the array. The electronically steerable phased array antenna, designed on 10.7 – 12.75 GHz, consists of 61 elements and there are phase shifters for scanning. Beneath each antenna element, phase shifters and RF components come to provide simultaneous control of both beam steering and polarization tracking. In the simulations, it is shown that main beam can be scanned up to 60° from boresight in both axes.

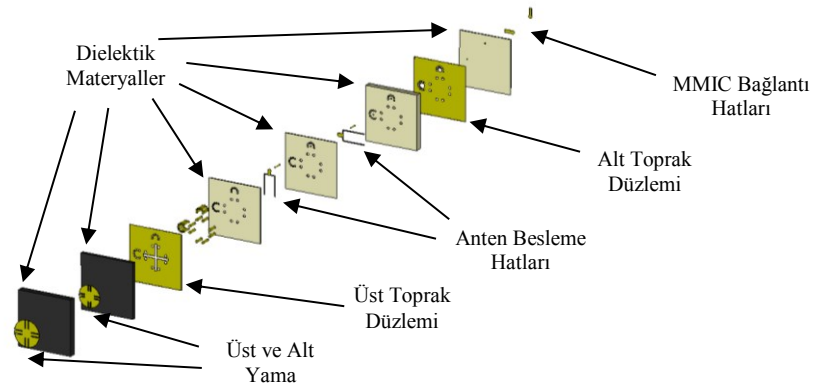
1. Giriş

Günümüzde uydu sistemleri iletişim ve uzaktan algılama gibi sivil ve askeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Çoğunlukla bu uygulamalarda, uydu üzerinde toplanan veri dünya üzerindeki kullanıcılara yada daha az sıklıkla gerçekleşmekle birlikte dünya üzerinde toplanan veri uydu sistemlerine aktarılmaktadır. Özellikle, yer durağan uydularla haberleşen hareketli uydu-yer terminallerinde ve yüksek irtifa uydularla haberleşen hareketli ya da sabit uydu-yer terminallerinde uydu ile yer terminali arasındaki veri haberleşmesinin başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi için yer terminali üzerindeki sistemin uydu sistemini takip etmesi ve platform hareketini kompanse etmesi gerekmektedir. Bu işlem geçmişten günümüze iki ekseninde mekanik taramalı anten sistemleri, bir ekseninde mekanik bir ekseninde elektronik taramalı anten sistemleri veya iki ekseninde de elektronik taramalı anten sistemleri olmak üzere üç farklı yapı ile gerçekleştirilmektedir [1]-[3].

Mevcut ve gelecekteki mobil uygulamalarda yüksek hızlı veri aktarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut uydu haberleşme sistemlerinde, Ku bant uydu haberleşme sistemleri bilişim sektörlerinde; düşük maliyetle yüksek bant genişliği kullanarak yüksek veri hızı yakalama ve zengin multimedya yayın sunma özelliklerinden dolayı dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

Tablo 1: Ku Bant Anten Modülünün Sistem İsterleri

Frekans Bandı	10.7 – 12.75 GHz
Modül Kazancı	> 20 dBi
Tarama Açısı Aralığı	$\pm 45^\circ$ (yatay ve dikey)
Polarizasyon	Lineer (polarizasyon eşleşme yeteneği)
G/T	> - 6 dB/K
Giriş Empedans Seviyesi	< - 10 dB



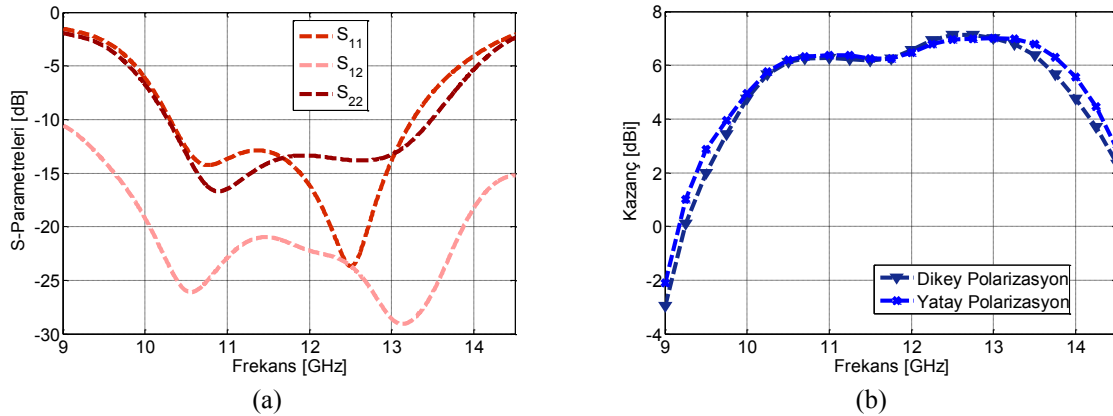
Şekil 1. Birim anten elemanının genişletilmiş görünümü.

Bu çalışmada, marketteki bu ihtiyaca hitaben tasarlanmış hareketli uydu yer terminallerinin uydudan gelen sinyali başarılı bir biçimde almasına imkân tanıyacak Ku bant elektronik taramalı ölçeklenebilir faz dizili anten tasarımı sunulmaktadır. Çalışmada sunulan elektronik taramalı faz dizili anten sistemi; yama antenlerden oluşan düzlemsel dizi anten ve alınan sinyali taban banda indiren çoklu alma kanallarından oluşmaktadır. Sistem için ön görülen başarımlar hedefleri Tablo 1’de verilmiştir [3].

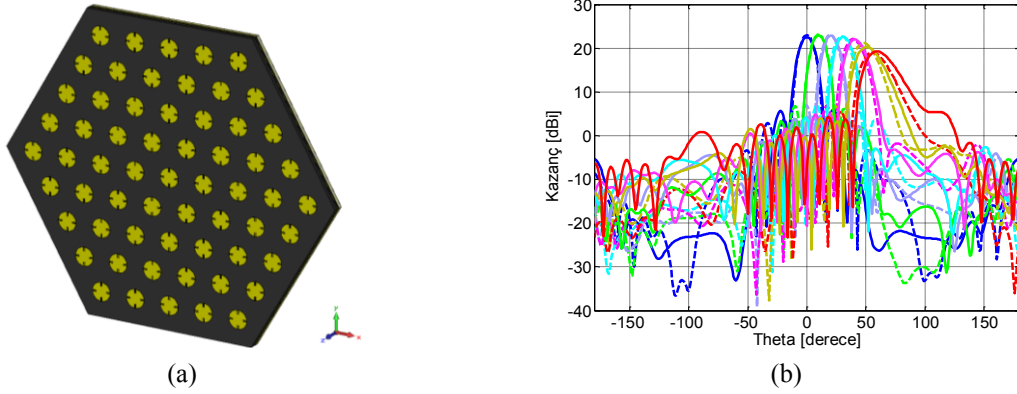
2. Birim Anten Yapısı

Geliştirilmekte olan dizi antende, birim anten tasarımı Şekil 1’de sunulan yapıda, 10.70 – 12.75 GHz frekans bantlarında uydu yayınlarını alacak şekilde ve çift polarizasyonlu olarak yapılmıştır. Yapısal detayları Şekil 1’de verilen yama antende yüksek bant genişliğini gerçekleştirebilmek için çoklu rezonans yapısını sağlayacak çok katmanlı anten yapısı tercih edilmiştir. Tasarımda 2.52 mm ve 3.62 mm yarıçaplarındaki alt ve üst yamalar için sırasıyla 1.575 mm kalınlığında ve 0.787 mm kalınlığında düşük elektrik geçirgenlik değerine sahip Rogers 5880 ($\epsilon_r = 2.2$, $\tan \delta = 0.0008 @ 10 \text{ GHz}$) taban malzemesi kullanılmıştır. Yamalar üzerine birim anten bazında minyatürleşme elde edebilmek için yarıklar açılmıştır.

Sistemin gürültü katsayısını düşük tutmak (G/T değerini arttırmak) için antenler arkasına LNA (Low Noise Amplifier) ve PS (Phase Shifter) elemanlarını içinde barındıran MMIC ve diğer pasif bileşenlerin yerleştirilmesi planlanmıştır. Bu elemanların antene yakın yerleşimini sağlayabilmek için de anten besleme yapısı olarak şerit hatlı (stripline) besleme yöntemi tercih edilmiştir. Besleme kısmında, ışın yayan yamaları besleyebilmek için üst toprak düzlemi üzerine birbirine dik konumlandırılmış iki adet açıklık yerleştirilmiştir. Bu açıklığın alt katmanlarına birbirine dik çatal şekilli besleme hatları yerleştirilmiştir. Bu yapı ile antende çift lineer polarizasyon elde edilmiş olup, bu yapı aynı zamanda dairesel polarizasyon oluşumu için de imkân sağlamaktadır. Tasarımda besleme kısmındaki bütün taban malzemeler Rogers RO 4003C ($\epsilon_r=3.55$ and $\tan\delta=0.0027 @10 \text{ GHz}$) olacak şekilde seçilmiştir. Açıklıklı toprak düzleminin altındaki birinci ve ikinci katmanlarda besleme hatlarından antenlere olan bağlaşımı artırmak amacıyla materyal kalınlığı 0.203 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, anten besleme hatları ve yama antenler arasındaki bağlaşımı artırmak amacıyla, anten besleme hatlarının üst taraflarında kalan taban malzemelerin kalınlıkları, alt tarafında kalan malzeme kalınlıklardan ince olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2. Birim anten elemanının (a) S-parametreleri, (b) kazanç değerleri.



Şekil 3. (a) Ku bant anten modülü. (b) Ku bant anten modülünün farklı açı değerlerindeki ışınma örüntüleri. (--- Phi=0°, —Phi=90°)

Bağlaşımı artırma amaçlı oluşturulan bu asimetrik şerit hat yapısı, istemsiz olarak paralel plaka dalga kılavuzu modlarının (paralel plate waveguide modes-PPWMs) uyarılmasına neden olmaktadır. Açıklık etrafında oluşan bu modları bastırmak amacıyla açıklıkların etraflarına kısa devre pinleri yerleştirilmiştir. Anten ile RF birimlerin entegre edilebilmesi için anten besleme hatlarından gelen uydu sinyali koaksiyel prob mantığı ile kayıpsız olarak RF katmana indirilmektedir. RF katmanda ise anten toprak düzlemi ve RF toprak düzlemlerinin birleştirilmesini amaçlayarak ortak toprak düzlemi tercih edilmiştir. Birim anten için CST yazılımı ile yapılan benzetim sonuçları Şekil 2'de sunulmuştur.

3. Dizi Anten Yapısı

Şekil 3 (a)'da sunulan dizi anten yapısı (bir karo) 61 elemandan oluşmaktadır. Oluşturulan dizi anten yapısı olarak üçgensel ızgara modellenmiş dizi anten yapısı seçilmiştir. Bu yöntem ile geniş tarama yetenekli faz dizili antenlerde büyük yan kulaklar oluşmadan (grating lobes) komşu elemanların faz merkezleri arasında bırakılabilecek maksimum mesafe elde edilmektedir [4]. Dizi antende, antenler arası mesafe sadece anten tarama yeteneği, antenler arası etkileşim ve ölçeklenebilirlik istekleri ile değil; antenler arkasına konumlandırılacak olan MMIC ve pasif bileşenlerin yerleşimi için yeterli yerler bırakılacak şekilde oluşturulmuştur. Dizide yama antenler arası mesafe 14.56 mm ($\sim 0.62\lambda_0$)'dır. Bu yapı ile iki ekseninde de $\pm 60^\circ$ 'nin başarılı bir şekilde taratılabildiği Şekil 3 (b)'de gösterilmiştir. Şekil 3 (b)'de kesikli çizgi ile çizilen örüntü $\Phi=0^\circ$, düz çizgi ile çizilen örüntü $\Phi=90^\circ$ eksenindeki taranmış örüntüleri sunmaktadır.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, Ku bant uydu haberleşmesinde hareketli uydu yer terminallerinde kullanılmak üzere birim anten ve bu birim antenlerden oluşan ölçeklenebilir faz dizili anten yapısı sunulmuştur. $10.7 - 12.75 \text{ GHz}$ frekanslarında çalışan çok katmanlı, çift polarizasyonlu dizi anten yapıları tartışılmıştır. Sunulan 61 elemanlı dizi anten yapısı, düşük profil ve yüksek performans özellikleri ile çift polarizasyonlu faz dizili anten uygulamaları için uygundur. Antenler arkasına konumlandırılan MMIC ve pasif RF bileşenler ile sunulan faz dizili anten sistemine hüme yönlendirme ve polarizasyon eşleşme yetenekleri kazandırılmıştır. Benzetimler ile ana huzmenin iki ekseninde de $\pm 60^\circ$ 'yi sorunsuz tarayabildiği gösterilmiştir. Çalışmaya ait diğer detaylar konferansta sunulacaktır.

Bilgilendirme

Bu çalışmanın bir kısmı TÜBİTAK-TEYDEB tarafından desteklenen 1130244 numaralı AR-GE Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1]. <https://www.viasat.com/products/mobile-broadband>
- [2]. Park U. H., Noh H. S., Son S. H., Lee K. H. ve Jeon S. I., "A novel mobile antenna for Ku-band satellite communications", ETRI Journal, cilt. 27, no. 3, s. 243-249, 2005.
- [3]. Kapsuz K. Y., Şen Y., Bulut M., Karadede İ., ve Oğuz U., "Low-profile scalable phased array antenna for Ku-band mobile satellite communications", International Symposium on Phased Array Systems and Technology, Boston, A. B. D., Ekim 2016.
- [4]. Bhattacharyya A. K., Phased Array Antennas Floquet Analysis, Synthesis BFNs, and Active Array Systems, John Wiley and Sons, Hoboken, A. B. D., 2006.